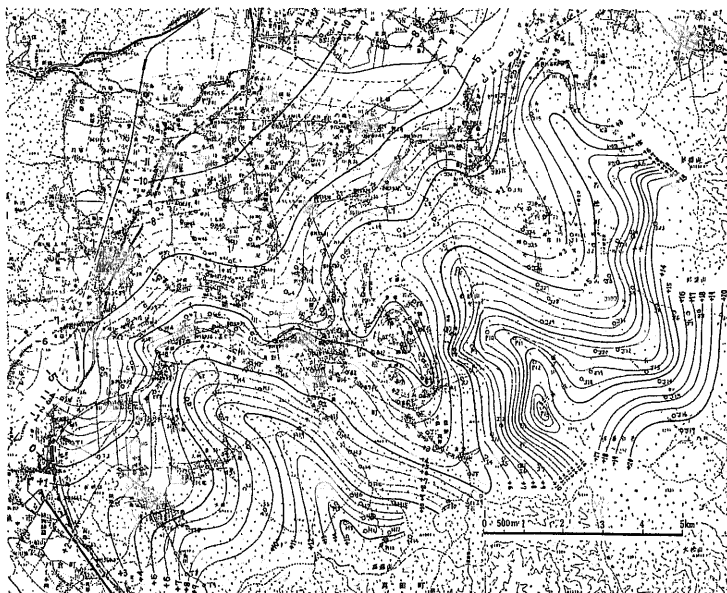


第1図 補正概念図

測定された重力値から地下の状態を調べようとする場合に問題となるのは上記の緯度の影響の他に測定点の高さの変化および周囲の地形の影響である。これらの補正をそれぞれ高度補正および地形補正とっている。これらの補正を施した後はじめて重力値の大小その変化の様子から地下の異常の有無その状態を論ずることが出来るのである。こように測定された重力値から標準重力値を引き去り高度補正と地形補正(測地学的目的の場合にはこの補正は省略されることが多い)を行なって得られた量(異常量)をブーゲ異常と呼ぶ。すなわちブーゲ異常は地殻内部の物質的なあるいは構造的な異常状態を直接的に反映している物理量と考えることができるのである。

密度仮定：これは前記の高度補正に関係している問題である。ここでは単に高度補正と書いたがこれは厳密にいうと複合高度補正といわなければならない。これを内容的に見ると

- (1) 地球の中心からの距離 すなわち 狭い意味の高度の影響 (Free-air Effect)
- (2) 観測点と基準面(平均海面)との間に挟まれている物



第2図 松地域ブーゲ異常図 ($\sigma=2.0$)

第2表 複合高度補正值(1m当り)

密度	補正值(mgal)	密度	補正值(mgal)
1.8	0.2332	2.3	0.2122
1.9	0.2290	2.4	0.2080
2.0	0.2248	2.5	0.2039
2.1	0.2206	2.6	0.1997
2.2	0.2164	2.7	0.1955

質(岩石 水など)の影響(Bouguer Effect)

の2つに分けることが出来る。前者に対する補正を Free-air 補正(自由大気の補正)と呼び 観測点の標高をHmとするとき $+0.3086H$ magl となる。後者の補正はブーゲ補正と呼ばれ 地層の平均密度を σ gr/cm³とするとき $-0.0419\sigma H$ magl となる。すなわちこの補正は無限に続く 厚さHmの岩石の板による重力値を差引くことを意味する。理解を助けるために 第1図にはこれらの補正の手順概念図が示されている。したがって いわゆる高度補正は次式

$$+(0.3086-0.0419\sigma)H$$

によって計算される。第2表にはこの式に基づいて計算された1m当りの高度補正值が示されている。この式中の σ すなわち 岩石の板の密度をいかにとるかが大問題なのである。測地学的目的には 2.67 gr/cm³(岩石でいえば花崗岩の密度がこの程度)が用いられているが 細かい議論をする重力探査ではその地域に適合した密度仮定を行っており そのとられる密度値の幅も1.8~2.6とかなり幅広い。この値の決定に際して単なる個々の岩石資料の値のみを用いることは大きな過誤を生ずる恐れがある。その原因の1つとして 重力の鉛直勾配(式中の0.3086)の不確実性が挙げられるが遺憾ながらわれわれは現在のところこれに関して何らの知識をも有してないといっても過言ではない状態である。この重力の鉛直勾配の地域特性の解明は地下の構造とも関係ある興味ある重要な問題である。とにかく われわれは色々な方法 考察によって地域に適合したまたは目的とする構造表出に最適な密度仮定を行なわねばならないのである。従来屢々筆者は各方面の方々から密度の取り方についてたずねられた経験があるが 決してい加減に仮定したり岩石資料を無視しているのではない事は後出の例でも明らかであろう。

第3表 松代地域岩石密度(湿润)表

皆神山熔岩	2.30*	別所層	
奇妙山熔岩	2.40*	黒色頁岩	2.59*
保基谷岳熔岩	2.75	変朽安山岩	2.78
石英閃緑岩	2.60*	内村層	
石英斑岩	2.54	緑色凝灰岩	2.58*
玢岩	2.70*	変朽安山岩	2.75*

*印は平均値であることを示す

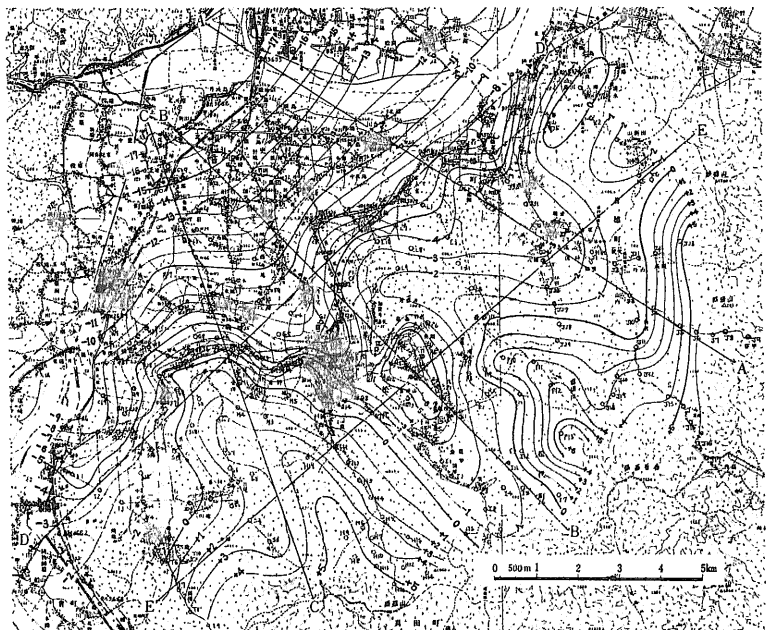
(2) 結果に対する考察

第2図は密度仮定を $\sigma=2.0$ C. G. S. とした場合のブーグ異常図であり 前報第7図に対応するものである 両者を比べてみると大体においてよく一致していることが分る。ただ等重力線の細かい形状の変化が認められるがこれは当然のことである。また皆神山部分に予期したような低重力異常が現われたが 予期していたとはいえずやはりきわめて興味深いことである。今回の調査によって山地部の重力分布の概要が判明したわけであるが これを見ると全般的に地形の特徴がよく反映している むしろ よく反映し過ぎていのように感ぜられる。この事は地形補正の問題だけでなく 高度補正が正しく行なわれなかったのではないかと の疑念を抱かせるものである。前回の場合には 参考資料としては 20万分の1地質図の他に 地域北部から善光寺平にかけての重力図(石油資源株式会社の調査結果で 密度仮定としては $\sigma=2.0$ C. G. S. を採用)があるだけであったので 地質図からの推定として高密度 ($\sigma=2.5$ C. G. S.) の異常図(第6図)を 既存重力図との対比の関係からは低密度仮定をした第7図を作製し 両者に本質的差異が認められなかったの 便宜的に第7図に基づいて議論を行なったわけである。今回は山地における重力値もかなり得られた他 多数の岩石資料も得られたので 密度に対する検討も比較的充分に行なうことが出来た。その結果として地域全体の密度仮定としては $\sigma=2.3$ C. G. S. を採用すべきであるとの結論が得られた 以下の議論はすべてこの密度値に基づいて得られた異常図第3図について行なわれる。なお参考までに調査地で集められた種々の岩石の密度を表示しておく(第3表) この表から個々の岩石の密度と仮定された密度との差異が了解される

ことと思う。

第3図に基づく所見は大局的には前報で述べた通りである。すなわち 山地部では地質学上の中央隆起帯を反映して一般に重力値は高く 平野部は対蹠的に沈降帯の一部を形成しているために重力値が低くなっており 南東に高く 北西に低い一般的傾向が顕著である。また 山地部では大小各種の異常が見られるが 平野部では単調に重力値が変化しており 顕著な異常は認められない。この重力分布の特徴は千曲川付近を境としており ここにかなりの構造差の存在を推定することが出来る。これらの所見は図中に示されている A Bおよび C線上の重力変化(第4図 a) b) および c))を見た方がより確然と直感的に分るであろう。上述の構造差の存在は今回の結果だけからはなんらの量的な指示をも得られないが 図中のD線位置の両側にほぼ直線状に平行に走る何本かの正断層(階段断層)の存在が予見出来る。鳥打峠で認められる断層や 電気探査の結果 測点No. 20(川中島橋部位)に推定される地下深部の落差約300mに及ぶ基盤面の断層状構造(電気探査の項を参照されたい)の存在などはこの証左と思われる。現在のところ 筆者は電気探査の結果認められた上記断層状構造が重力調査から推定された中央隆起帯と沈降帯を分ける構造線を示すものと考えているが この点に関しては今後さらに検討してみたいと思っている。

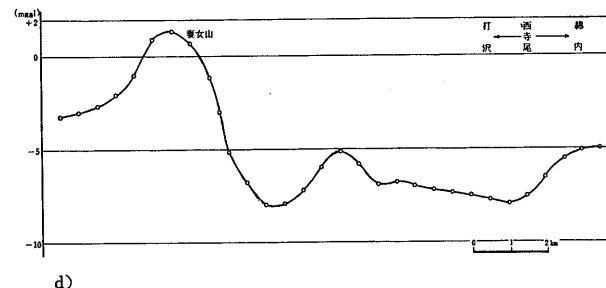
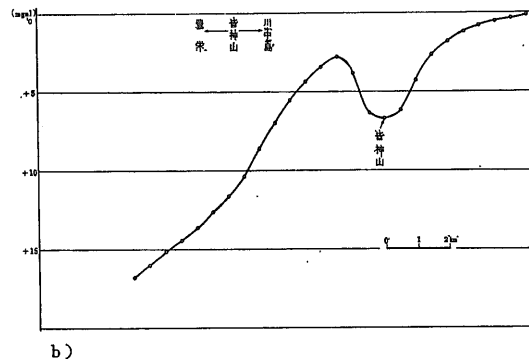
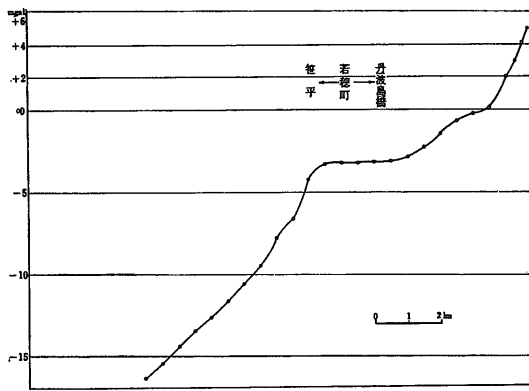
DおよびE線上の重力断面を示す第4図 d) および e) は隆起帯内における重力分布の特徴を直感的に理解し得るように示したものである。この両者がきわめて類似的であること 断面左端部とその右ではいずれの断



第3図 松代地域ブーグ異常図 ($\sigma=2.3$)

面においても重力値は階段的に数 mgal の差があることに注目されたい。これらの特徴は隆起帯内の構造を反映していることは明らかであり 第3図および地質図を対比考察した結果 地域南部では基盤の上昇と共に地下に優勢な火成岩体の進入が推察された。すなわち 調査地域内では隆起帯は南西部と北東部の2つに大別出来るわけであり その境界は気象庁松代地震観測所のある西条の谷間あたりと推定される。地域北東部では重力異常域の配列方向に南西部の高重力域(妻女山—高遠山を軸とする)にほぼ平行した顕著な規則性(NW—SE配列)が認められるが 重力異常の考察のみからはこの区域内に顕著な示差的な構造の存在を想定することは出来ない。この結論は筆者自身少しく意外であった。調査前にはNW—SE 方向の構造配列を予想し もう少し強い異常が現われることを期待していたからである。

第4図 重力断面図(a,b,c,d,e)

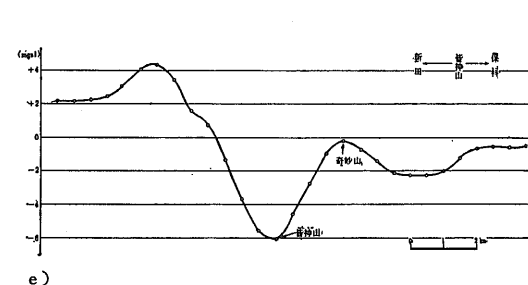
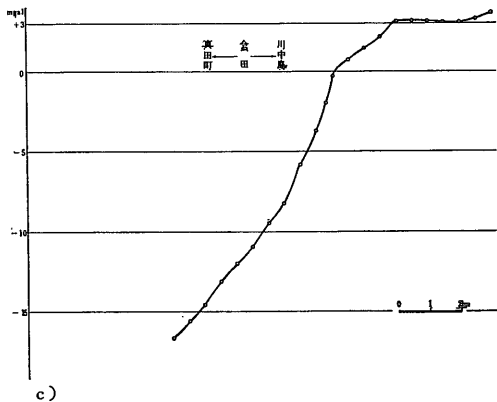


しかし この結果は決して示差的な構造の存在そのものを否定しているわけではなく 仮りに存在していてもそれが重力値に強く反映していないのだ とも考えられる したがってこの事項の解決は 他の方法による調査に待たなければならないわけである。

なおA断面右端部に見られる重力値上昇部分 第3図では地域右端の等重力線がほぼ南北に走っている部分が注目される。しかし ここに重要な構造差が認められるか否かは今後の調査にまたねばならない。第2次調査計画の実現がもたれる所以の1つである。

第5図および第6図は第3図に基づき計算して求められた余剰重力図(筆者の方法による)であり 第5図は正規構造図 第6図はノイズ構造図と呼ばれるもので 小規模の局所的な異常を表出したものである。これらは概念的には規模の小さな異常ほど浅いところの異常を示すものと考えて結構である。両図に共通していることは平野部に異常がほとんど見られない事であり このことは平野部では地層は水平成層的に堆積しており この内部に褶曲 断層などの構造は少なく 共地下浅所に関する限り存在しないであろう事 また 平野縁辺部を除いては火成岩類の進入は見られないであろうことを物語っている。

山地部ではかなり顕著な正 負の異常が存在しており 正規構造では正異常として 妻女山 加賀井北部 若穂町下和 若穂町春山の各異常がほぼ直線状に千曲川沿い



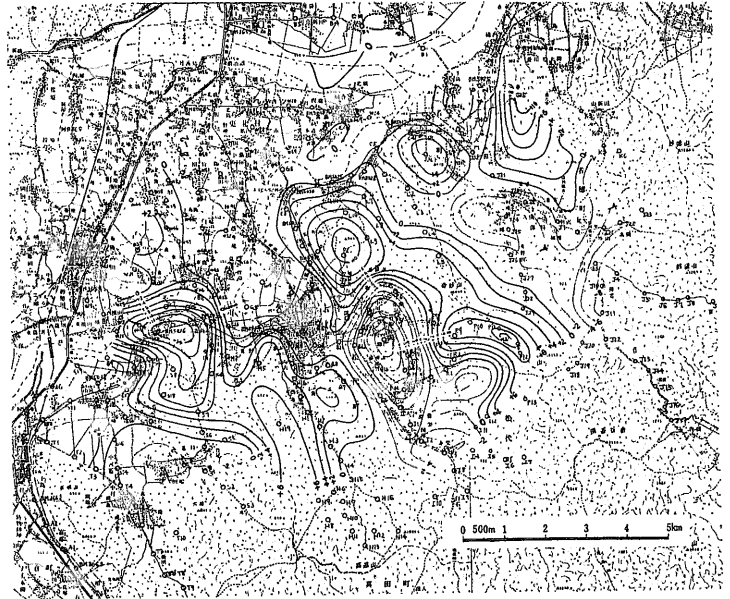
に並んでおり またこれらの東南方にそれぞれ西条南部堀切山部分の異常が平行して存在する 負異常としては更埴市雨宮 松代 若穂町牛島の各異常が千曲川沿いに更埴市倉科 皆神山 若穂町保科の各異常が平行してそれぞれ直線状に存在している。ノイズ構造では上記の顕著な異常の内部またはその周辺部にやや顕著な正負の異常が現われているのが注目される。これらのうちいくつかの異常は地質調査によって得られた知見に対応するものとして興味深いものがあるが 話しがあまり細くなるので割愛することにする。

これらの異常のうち正異常は地質調査の結果を考慮するとき すべて火成岩類の侵入を反映するものと解せられ 負異常は基盤の凹部に対応しているものと考えられる。しかし 現在のところ 皆神山負異常を除いては これらの負異常に顕著な構造性を考えることは出来ない。

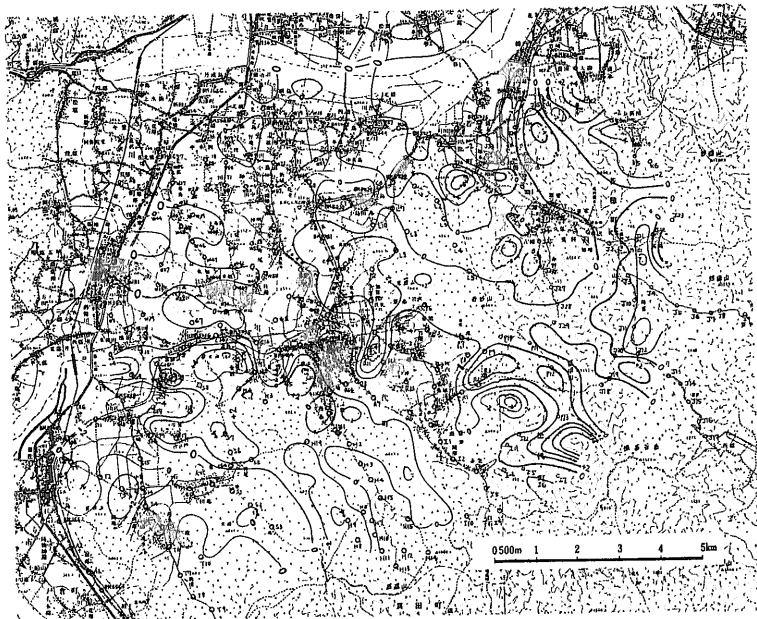
皆神山を含む区域の地下の構造は この部分が震域の中央部であること 現在までの地震活動を通じ 大小の地震が多数集中的に発生していること また皆神山が熔岩円頂丘であることなどからその解明が望まれ注視されている。したがって 今回の各種の調査においてもこの区域の地下構造の解明は一つの大きな目的となっているのである。すなわち地質調査 重力探査 電気探査などによってその概要を把握することが企図された

のである。 国立防災センターのボーリング計画はその計画深度が遺憾ながら浅過ぎ(200 m)はするが 上述の意図を端的に表明するものであり またその成果によって他種調査の成果の質的向上を期する意味も含まれている。

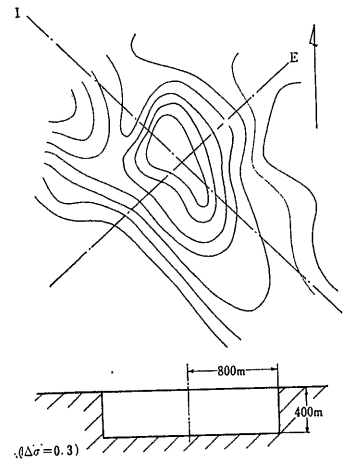
第7図はこの皆神山低重力異常部分だけを抜き出して画いたもので 図中IおよびEの鎖線は前出の重力断面を作った測線を示している。(第4図b)で明らかのように この低重力異常は字義通り異常な変化形態を示し



第5図 正 規 構 造 図 (S=500m)



第6図 ノ イ ズ 構 造 図 (S=500m)



第7図 皆神山低重力異常および仮定地下構造

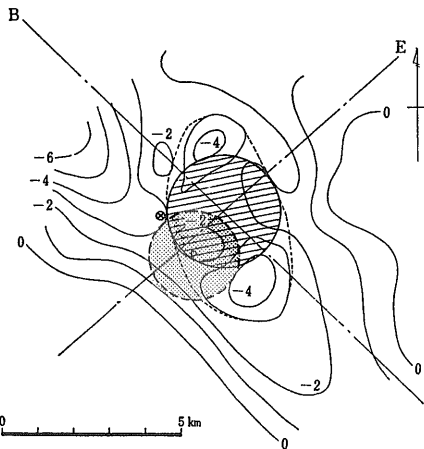
ている。このような形態の異常はカルデラ内ではしばしば見られるものである。そこでこの異常を円形状構造内の質量欠損に基づくものとしてどの程度説明し得るものかを調べてみた。その結果は第8図に示されている。すなわち半径800m深さ400mの円形陥没構造(中心はB線とE線の交点)が存在し周辺との密度差が 0.3 gr/cm^3 であると仮定すると原異常のほとんどが解消することを示している。もっとも異常の北西端と南東端に補償し切れない部分が残るがこれはもともと異常の形状が円形でないことに起因するので恐らくは図中点線で示したような楕円形状(短径800m 長径1500m 深さ400m)陥没構造を想定すればほぼ完全に補償されるものと考えられる。なお図中の破線輪郭の円形状の部分は皆神山を示している。

第9図はB線およびE線上の重力断面を示しており第4図b)およびe)の一部を尺度を変えて図示したものである。図中点線は上記補償を行なった場合に各断面について重力値がどのように変わるかを示すためにかかれた補償後の重力断面を表わしている。B断面では加賀井南方長札のごく小規模な高異常(2種類の余剰重力図に共に正異常として現われている。とくにノイズ構造に顕著に現われている)がさらに強調されて出ている。地質調査の結果ではここに第三系の地層に火成岩(石英閃緑岩)が岩脈状に侵入しているのが認められているとの事であるがこの事実はこの部分が今考えている構造の縁の部分形成しているので重要である。E断面では皆神山部分と竹原・菅間部分に小規模な高異常が現われてくる。これらは皆神山の熔岩円頂丘の存在および竹原・菅間の地下浅所に存在する石英閃緑岩の存在を反映しているものと考えられるが測点数が少ない事また異常が微弱であるため確言は出来ない。

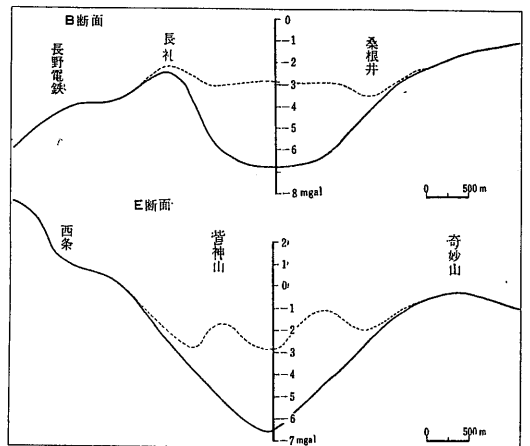
以上のようにして皆神山低重力異常はここに陥没構造(円形的であるという意味をこめてカルデラ状構造と呼ぶ)を想定することにより一応説明することが出来た。しかし説明し得た事と解答とは別個のものでありしたがってわれわれは上述の地下構造模型を直ちに採用することはできない。いわんや地質学的な色付けを行なうことは無理でありそのためには実証に基づいた検討を慎重にしなければならない。われわれは現在いくつかの全く異質の情報を有している。すなわち重力資料 電気探査による地下の比抵抗分布 観測井の岩芯からの物性的・地質的資料 地表地質資料などである。

後述するように電気探査の測線は重力断面のB線にごく近接して取られており両者の結果はほとんどそのまま対比出来る。この電気探査の結果は皆神低重力異常内の比抵抗分布は複雑であり(後出の図参照)他の測点で認められる $1000 \Omega \text{m}$ 以上の層(電気的基盤面)が長札を過ぎると突然消滅してしまう。しかしボーリング位置で上記測線に直角にとられた短かい測線に関する観測からは地下約350mの所に $2000 \Omega \text{m}$ 面が存在することが判明している。このような事実と観測井が仮想陥没構造の直ぐ外側(第8図の図中の⊗が観測井)に位置していることはたいへん興味深い。

観測井の岩芯からは熔岩層が厚く裾を引いて広がっているらしいこと 地表下約165mで別所層に達した事その他の情報が得られている。これはわれわれに基盤深度に関する情報を与えてくれる。地質調査の結果は第三系の分布 火成岩分布 火山活動 地域の構造に関する知識をわれわれに与えてくれる。その結果によると皆神山低重力異常域に火山構造性陥没(カルデラ)の存在を積極的に立証するような噴出物や構造は見出されていないとのことである。このように情報は一見多豊富であるようであるが 想定されたカルデラ状構造の存



第8図 補償後の皆神山区域の重力異常



第9図 補償後の重力断面

在を決定化するには未だ不十分のようである。

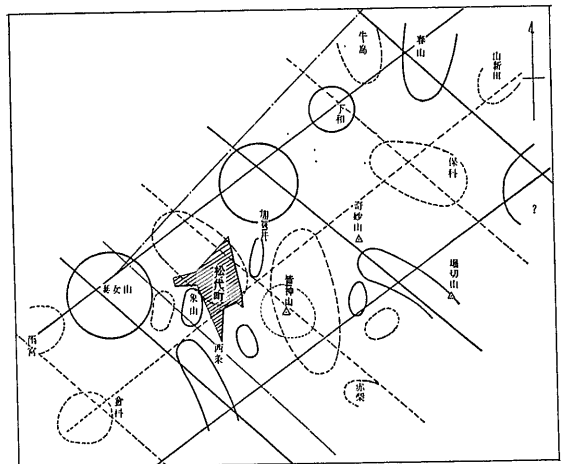
ところで 筆者は異常を説明するために一つの幾何学的模型を提出したが 実は同種の模型のみを考へても解釈は無数にあるのである。すなわち 密度差の仮定を充分な理由づけをもって狭い範囲に追込むことが出来ない限り この構造の深度を決定することは出来ないのである。すでに示した岩石密度の資料(第3表)は基盤岩類の密度はかなり大きいことをわれわれに教えている。そこでこの構造の内外の平均の密度差として 0.5 gr/cm^3 をとってみよう。このとき円形構造の深度は 200m より少し浅くなる。今まで得られた岩石資料から構造の内外の平均の密度差を見積ってみると 0.3より小さいことも 0.5より大きいこともまずなさそうである。したがって われわれはさきに示したような模型の深度としては大略200m~400mと見積ることが出来る。瀬岡あたりに 500 m以上のボーリングを少なくとも 1本位は掘ってみたいものである。

(3) 重力異常よりみた地域の構造特性

すでに述べたように 山地部の重力分布は適正と思われる密度仮定を行なってもなお地形の特徴を反映しているような異常を呈している。この事は一見当り前のように思われるが 決して当り前ではないのである。多くの重力調査例によれば 山地部に低異常が存在し一見地形と逆相関があるように思える場合も また地形的特徴と全然関係がないように見える場合も決して少なくない。一般的にいって 地形と地質 地質と重力異常との間には本質的な意味においてそれぞれ密接な関係があり その相関的な現われが強い程 地形と重力異常の間には関連性が強く見られるようになるのである。当地域には地質の項で説明されているように 火成岩類が旺盛に分布しており その火成活動に対応するような地形的特徴を示している。この事は火成岩類が一般には堅硬であり 風・水の侵食などの開析力に対して著しい抵抗性を有していることによる。一方これら火成岩類は高密度のものが多く これらが大量に塊状に分布する場合にはそれに起因する高重力異常が期待出来る。したがって 当地域の重力分布はまずこれら火成岩類とくに深成岩類の分布状況を反映してくることが考えられる。なお 地域には第三系の地層も分布しており とくに南西部に著しい。この第三系を構成する別所層の黑色頁岩 内村層の緑色凝灰岩は広く分布しており その質は緻密であり第3表に示されているようにかかなり大きな密度値を示している。このため これらの第三系の地層の存在は 下部の深成岩体の効果をいささかも減ずることなく地域の重力異常に関与してくるのである。

このようにして 地域の重力異常はその地質状況ときわめて調和的であり また地形的特徴が反映してくることが予想される。本文ではあまり触れなかったが実際に地質調査の結果と重力異常を対比すると その対応がきわめてよい事が分る。前報で地域南西部の高異常域に半ドーム構造の存在を予想したのはこのような考察に基づいているのである。

上述のような状況は 一面からいうとはなはだ困ったことでもある。すなわち 火成岩類の分布が旺盛でかつその影響が重力値に強く反映しているということはとりもなおさず 地域の構造性を調べる手掛りがなくなってしまふということを意味している。背斜 向斜断層などの構造による異常が微弱な場合には火成岩体による異常のなかに埋没してしまうのである。しかし 全く手掛りがなくなってしまふわけではなく 時によると間接的な手掛りが残っている場合がある。その一つは皮肉なことに火成岩分布 重力的に言えば 火成活動を反映していると思われる異常の分布である。多くの場合において われわれは火成活動が全くでたために無秩序に行なわれているのではなく なんらかの規則性にしたがって行なわれていることを経験的に知っている。このような規則性の一つの現われとして空間的な規則性ある火成岩の分布範囲 その配列 方向性などをあげることが出来る。このような規則性の原因として地殻内の弱線(面)の生成 それによる火成活動の規制が考えられる 第10図は第5図より作成したもので 一応地域の構造の特性を反映したものという意味で構造特性図と名付けた。図中実線で囲んだ部分は正異常を 破線は負異常を示している。また実直線は正異常を結んだもので 破線の直線は負異常を結んだものである。すでにのべたように 図示された正異常はいずれも火成岩体



第10図 松代地域構造特性

の侵入を反映しているものと推察されるが これら火成岩類（玢岩 閃緑岩類）を第三系の地層とともに基盤岩類とすれば これらの正異常は基盤の突出部を示すことになり 第3図の高重力域 すなわち 第10図のNW—SE 方向の実線を軸とする正異常帯は基盤の上昇部を意味することになる。この基盤の上昇は同一方向の配列をとり その繰返しの間隔は約 5 km である。そしてこのほぼ中間に相対的な基盤の下降部が平行して存在している。この NW—SE の方向が西条の谷間付近に想定された断層状構造（図中鎖線でその位置が記入されている）のそれに一致することははなはだ興味深い。

さきに千曲川にほぼ平行する構造線の存在を推定したが（図中 NE—SW の鎖線で示す）これに平行する異常の配列は認められない。一応図示した配列と推定構造線の方向は鋭角をもって交っており 両者の間に密接な関係があるのかどうかは詳かでない。もしこの両者が同一であるとすると 図示された異常配列は推定構造線の影響をうけた構造に支配されているものとも考えることも出来るが 今のところこの NE—SW に近い方向の配列のもつ意義は副次的なものと考えられる。なお この配列の間隔も約 5 km である。

以上のような考察は地域の構造に関して一つの推論を可能にする。すなわち 地域に見られる支配的な構造方向は NW—SE 方向であり この方向に発達した大きな裂罅に沿って火成岩の侵入が行なわれているようであり 基盤岩内にはこの方向の裂罅系が卓越して形成されている可能性が強い。またこの主方向にやや斜交して副次的な構造方向の存在が看取される。これらの構造の波長は約 5 km 程度であり この程度の構造単元の存在を地域内で考えることが出来る

上述の考察結果は調査城内のみみ考えることが出来るのであり 中央隆起帯全帯にわたって同様な考察が妥当かどうかは不明である。

（4）群発地震に関連して

群発地震が発生し出してからすでに一年を経過し その間3つの活動期を見ている。気象庁の発表によると震域は徐々に拡大しており その発生状況からみてこの地域に発生する地震群を3つに分けることが出来るようである。すなわち 若穂地震群 皆神山地震群 雨宮地震群である。これらのうち 皆神山地震群はそもその当初から現在に到るまで もっとも活発に発生しており 常に中心的な存在であった。

すでに報じたように 松代地震に関連した北信地域全体の地盤変動観測の結果は松代地震が北信地域に生じつ

つある地殻変動の局部的発現であると見るべきことを示している。それでは何故このような狭い限定された区域内に地震が発生するのであろうか。この問いに対する考え方として3つの場合が考えられる。

- ① 地下の構造がこの区域にとくに応力集中をもたらすようになっている
- ② 特に著しい応力集中は存在しないが 岩石破壊が起こりやすい特異な状態となっている
- ③ 広域の地殻変動に刺戟されて地下深所の熔岩溜りに変化が生じている

などである。現在のところわれわれはこれらに関してあまり多くをいうことが出来ず 調査観測の結果を援用して推測を行なっている状態である。しかし 徐々に資料は集積しつつあり その解明は全く不可能というわけではない。ここでは重力調査の結果をこの群発地震の特徴と対比することによって新しい2, 3の資料を追加したいと思う。

上記の3つの地震群はそれぞれ若穂町保科付近を中心として発生するもの 松代町皆神山付近を中心とするもの 更埴市雨宮付近に発生するものに対してつけられた名称である。これらを重力異常と対比するとき これら地震群の中心部がいずれも低重力異常域であることが注目される。またこれらの地震のP波の初動分布は気象庁や東大震研の発表のように象限型であり その節線の方向は NW—SE およびこれに直交する NE—SW である。これらの方向がすでに記した千曲川に沿う推定構造線および地域の構造の主方向と一致していることは一応重視されてよい。発震機構の理論的取扱いにおいて 象限型初動分布は垂直面内での変位運動に伴って生ずることが分っているからである。逆にいえば 象限型であれば地下の断層面に平行に生じたズリの運動がその原因であると推測され得るわけである。また地震発生分布範囲を調べると 前報で指摘したように 千曲川 すなわち ここに推定された構造線を越えては依然としてほとんど地震が発生していないことが分る。

これらの事実は松代地震の発生機構に関してきわめて示唆的であるように思われる。さきに地震域内の基盤岩内に NW—SE 方向の裂罅系が形成されている可能性が強いことを述べたが 地域の地下に何らかの原因によって応力の増大が生じ（これは北信一帯で考えられる）これによって上記方向のすべり面を生じ 岩石の破壊が行なわれているのが現在の状況ではないかと推察される。

今後の地震活動の推移 それに対する調査研究の進展によって今回の地震の本性の解明が遠からずなされることが期待されているが 本調査結果がその一助ともなれば 幸である。

II 電気探査

電気探査は震域中心部の皆神山付近の地下の構造を解明するため また さきに行なわれた重力概査によって千曲川付近にその存在が推定された構造線の把握 その位置 規模を明らかにすることを目的として計画され 実施された。 調査規模は少なくとも地下1000mまでの構造を明らかにする必要があり また 浅部構造もある程度明確にする必要があるために下記の如くとられた。

測線長……………9.5km

測点……………23点(250m間隔)

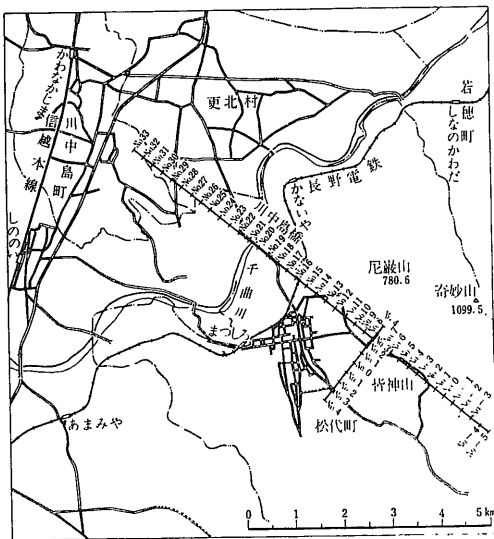
この測線位置は第1図に示されている

なお観測中測点 No. 15~No. 17 あたりで測定値に異常がみられたので 推定構造線の問題もあり No. 15 および No. 17 において水平探査を行なった。 また国立防災科学技術センターの観測井が皆神山の麓に設けられたので この点を通る短い測線を設定し ボーリング位置の地下の電気的構造を解明するよう計画した。

現地調査は6月7日から7月18日までの39日間にわたって行なわれた。

(1) 基礎的説明

電気探査の種類： 電気探査には地下の垂直方向の電気的性状を明らかにし 地下の構造を解明する垂直法と 電流電極 電位電極の電極間隔を一定にして 平面的な電気的性状を調べる水平法とがある。 また測定方式によっても分類しており Wenner 法とSchlumberger 法が最も一般的である(電極配置による分類) この測定方式による分類では多数の方法に分けられるがこ



第1図 電気探査(VES)測線位置図

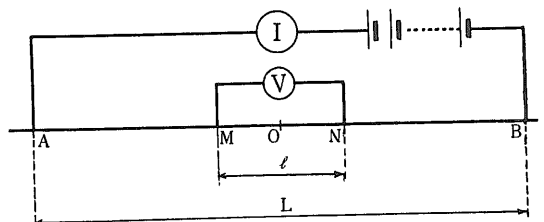
こでは説明を省略する。

電気探査(垂直法)の原理： 第2図には Schlumberger 配置が示されている。 すなわち Schlumberger 配置とは対称4極配置の一種であり もし $l=L/3$ にとった場合にこれを Wenner 法というのである。 Schlumberger 配置では常に $l < L/5$ になるようにとられている。 図においてAおよびBは電流電極であり これによって地中に電流を供給し 一方電位電極MおよびNの電位の差(電圧降下)を電圧計で観測し この電流値と電位差とから地層の見掛け比抵抗値を算出する。 ここで見掛け比抵抗ということばを使ったが 一般に A B 電極の間隔を増大する程深く電流が透入し 深部の影響が地表電位におよんでくるために 算出された比抵抗値は地表付近の地層の真の比抵抗値とは異なってくる。 幾つかの地層のある意味での平均の値を示してくるのである。 地層が水平方向に均質であり 垂直方向には平行に成層している場合には 与えられた電極配置に対してどのような比抵抗値が観測されるかは理論計算によって厳密に求められる。 したがって 理論的な解釈を種々の場合について求めておけば(標準曲線)観測曲線(VES曲線)から逆に地下の電気的構造がわかるわけである。 この解析には2層曲線法と3層曲線法が行なわれている本調査の場合にはおもに後者によって解析を行なっている。 なお ABを広げ過ぎると 精度が低下するので適当な所でMNを大きくし VES曲線を完成させるようにしている。 このとき測定精度の吟味 電極近傍の異常の検討などを行なうために必ず2種類のMNによる観測を行なって 第3図に例示したように接続するようにしなければならない。 参考までに本調査でとられた電極間隔を 次に記しておこう。

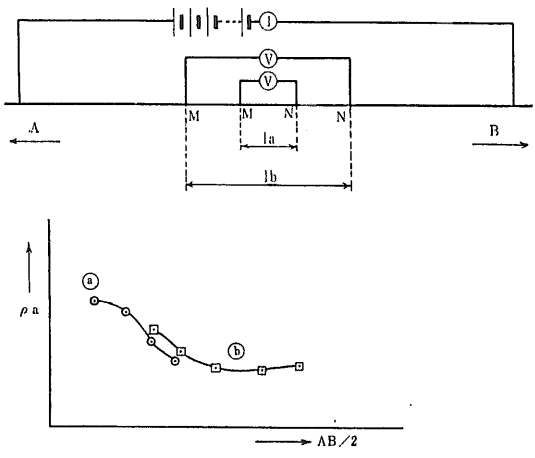
垂直探査 $AB/2 = 15, 25, 40, 65, 100, 150, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750, 2000, 3000, 4000$ (m)
 $MN/2 = 1, 5, 20, 75, 250$ (m)
 水平探査 $AB/2 = 1.000$ m $MN/2 = 50$ m

(2) 調査結果に対する考察

第4図は本調査の最終的結果の1つであり 測線下の比抵抗分布を示す断面図である。比抵抗層はAからFま



第2図 Schlumberger 配置



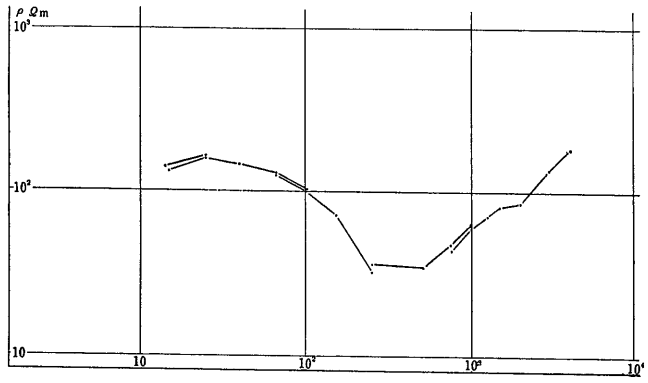
第3図 a) 観測原理図

での多くの部分に区分され それを表層 低抵抗中間層 中間層および高抵抗基盤の4層に大分けしてある。比抵抗層の境界のうち 実線は境界の深度の信頼度の高いものであり 点線はその低いものである。表層の境界で破線で示されているところは 電極間隔の短い すなわちAB/2の小さい部分のVES曲線が測定されていないため 比抵抗値を仮定して深度を解析した部分である。比抵抗層の境界の深度が急激に変化するところでは 断層の存在を考え鎖線で示した。波形の線で区分したところは比抵抗が水平に漸移的に変化するときである。

最小探査限界として示された深度までは 最も深い比抵抗層が連続していることが確かであると考えられる。

この限界は測線の中央部ではあまりにも控え目に見積っているのもう少し深くまで続いていると考えてもよい。第5図は測点直下の比抵抗分布を示したものであり 第6図は観測井を中心とした短い測定で得られた観測井直下の比抵抗分布を示している。

さて 第4図に示す比抵抗断面について考察しよう。最も一般的な特徴は千曲川を境にして北西方では単純な構造を示すのに対して 南東方ではぐっと複雑になっていることである。しかもこの複雑な部分に震源が集まっていることは興味深い。最下層のH. R. B. と記した

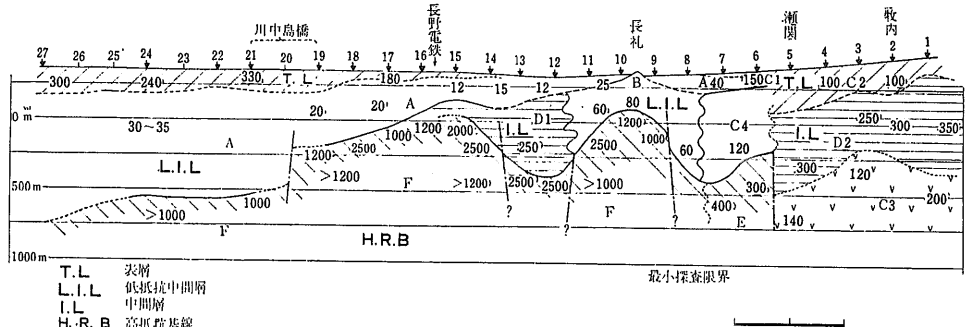


b) 測定例

高抵抗基盤は 1,000 Ωm 前後ないしそれ以上の比抵抗を示し 一般的に北西方に向け傾斜している。なおその様子は測点 No.7 No.12 No.22以降を結んでみるとよく判る。No.9~10 No.15~19 でこの層の隆起部がみられる。このような隆起状構造は断層によるものか後に述べるような 石英閃緑岩等の侵入によるものかが断定できないが おそらく両者がからみ合ってきたものであろう。

この層の比抵抗値が500または1,000 Ωm を超えるような高い値を示すことは解釈しきわめて重要である。直流電気探査法を開発し 各地での探査に実際に適用してきた小野技官の経験によれば 先第三系の地層または酸性深成岩ないし半深成岩においてこのような高い値が認められる。もちろん それらが地表に露呈するかあるいは浅所に認められる場合は もっと低い値をとることもある。いわゆるグリーン・タフも 地熱その他の調査では 被覆岩に比べて高いことが知られている。しかし多くの場合このような深所では 100 Ωm 以上の値であっても 1,000 Ωm を超えることが推測されるに至っていない。

したがって もしこの地域において 断面図に示されたような深度付近において 先第三系岩石(古生層または花崗岩類と考えられている)が存在することが常識的に理解されないとするならば 随所にみられる隆起状構



第4図 松代地域深部電気探査結果図(地下比抵抗分布図)

造をも考慮して 石英閃緑岩等の進入を主体とするものとして高抵抗基盤を解釈するのが妥当であろう。

この比抵抗層は測点 No.5 より南東方では確認されていない。 小区分でE層と名付けられた300~400Ωmの比抵抗層は 一応 高抵抗基盤に一括してあるが これをより低い比抵抗層群 すなわち中間層I.L. に含めるほうが 重力異常と総合して解釈する上には 都合がよいように考えられる。 ただ 比抵抗断面で測点 No.5 と6の間には明瞭な断層状不連続が認められる。 さて少なくとも高抵抗基盤は図上に引かれた最小探査限界の線より上には存在しない。

では この部分にみられる基盤について考えよう。 このブロック すなわち小区分でC₃層の比抵抗は 100~150Ωmと判定されている。 比抵抗層の境界の決定は測定曲線にこの付近の地層が不均質であることを表わすような特徴が示されていて 決して満足すべき精度ではないのであるが 明らかに高比抵抗の地層が存在しないので C₃層が高比抵抗基盤と同類であるか否かは 直ちに論じにくい。 もし高比抵抗基盤H. R. B. と C₃層とが同類であるとすれば 状態の相異 たとえば 破碎性に富んだ部分に相当するとか 変質を受けたものとか その他の物理的要因によって比抵抗が低下したものと考えざるを得ない。 そうでないとするならば 別所層の下部の比較的 熔岩類 凝灰岩類を含んだ部分に当たると考えられる。 続いて L. I. T. と記された低比抵抗中間層であるが この地域として最も低く 多分別所層の頁岩類 泥岩質岩石によってもたらされたものであろう。 この中で 小区分でB層と名付けられた部分をどう解釈

するかは頭の痛い問題であり その周辺部との比抵抗変化の問題と合せて さらに検討を要する。

I. L. と記された中間層の部分は250~350Ωmの比抵抗を示し小区分でD₁層とD₂層の2つにわかれるが 測線が B層の部分を横切らなければ 連続していると考えられる。 この部分は別所層でも比較的溶岩類を含んでいると考えたい。 T. L. と記された表層は沖積層および洪積物を主体としたものであると考えられる。 南西の部分はさらに比較的新しい溶岩 火山噴出物の影響を受けているであろう。

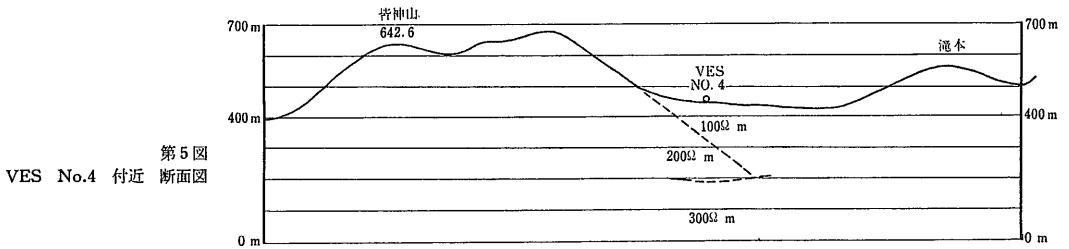
大別すると この地域の構造は

- I 千曲川北西方 測点 No.21~No.27
- II 皆神山-千曲川 測点 No.6~No.19
- III 皆神山南東方 測点 No.5~No.1

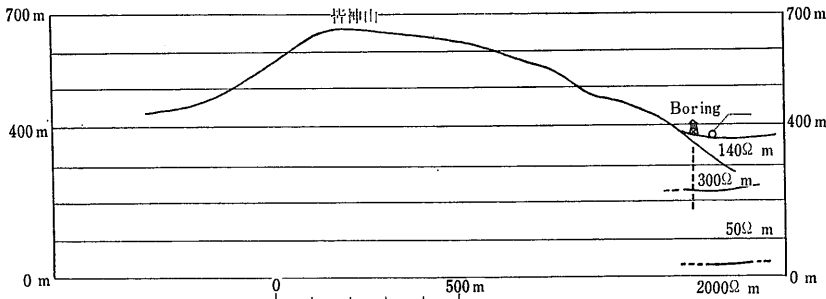
の3地区に分かれる。 Iは比較的構造変化の乏しい部分であり IIは石英閃緑岩等の進入あるいは断層等 構造変化の激しい地域であり IIIはもし臆測が許されるならば もっと深所に高抵抗基盤が存在するか 熱その他の要因によって状態がIIとは異なるような部分である。

以上の解釈は重力異常 地質および地質構造などに関する調査資料を完全に総合して行なったものではない。 今後諸研究の成果を総合して検討することによって 変更されることもあると考えられる。

電気探査を担当した小野吉彦技官が目下出張中であるので 本稿(電気探査の部分)は同技官が出張前の多忙の間に書きとめたメモに従って記述された。 しかし 小野技官の見解を誤り伝えている部分があるかも知れないことをお断りしておきたい(筆者は物理探査部)



第5図
VES No.4 付近 断面図



第6図
Boring 位置断面図